

## Electron beam exposure apparatus and method of controlling same

Patent Number: ☐ US5864142  
Publication date: 1999-01-26  
Inventor(s): GOTO SUSUMU (JP); MURAKI MASATO (JP)  
Applicant(s): CANON KK (JP)  
Requested Patent: ☐ JP9330867  
Application Number: US19970873023 19970611  
Priority Number(s): JP19960150986 19960612  
IPC Classification: H01J37/304  
EC Classification: H01J37/304B  
Equivalents:

---

### Abstract

---

A beam coordinate system decided by a plurality of beam reference positions and a deflection coordinate system decided by a deflector in a multi-electron beam exposure apparatus are made to coincide in a highly precise fashion and exposure is performed upon rapidly correcting a change in the offset between the two coordinate systems with the passage of time. The apparatus has an adjusting unit for adjusting an XY stage or a deflector based upon a first parameter representing the relationship between the beam coordinate system, which is decided by the plurality of beam reference positions, and the design coordinate system, and a second parameter representing the relationship between the deflection coordinate system, which is decided by the deflector, and the design coordinate system.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-330867

(43) 公開日 平成9年(1997)12月22日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 4 1 W
G 0 3 F 7/20	5 0 4		G 0 3 F 7/20	5 0 4
H 0 1 J 37/305			H 0 1 J 37/305	B

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平8-150986

(22) 出願日 平成8年(1996)6月12日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 村木 真人

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ

ン株式会社内

(72) 発明者 後藤 進

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ

ン株式会社内

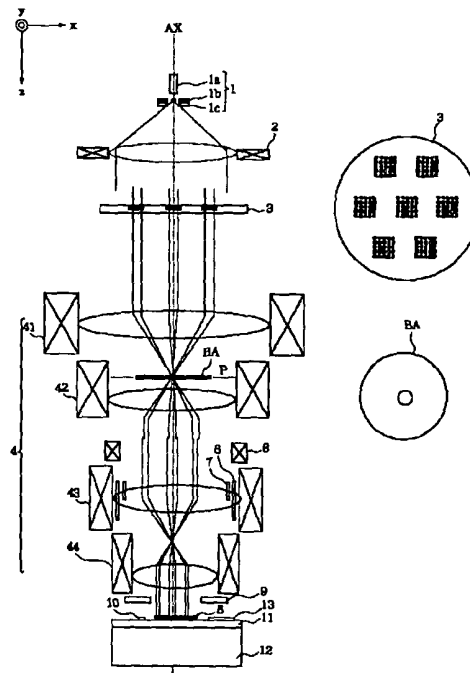
(74) 代理人 弁理士 丸島 儀一

(54) 【発明の名称】 電子ビーム露光方法及びそれを用いたデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 マルチビーム型電子ビーム露光装置において、複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系と偏向器が定める偏向座標系とを高精度に一致させるとともに座標間のずれの経時変化を短時間で補正して露光する。

【解決手段】 複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系と設計上の座標系の関係を表す第1のパラメータと、偏向器が定める偏向座標系と設計上の座標系の関係を表す第2のパラメータに基づいて、ビーム照射手段もしくはビーム偏向手段を調整する調整段階を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の電子ビームを設計上の座標系に基づいて基板面上に配列させて照射する照射手段と、前記設計上の座標系に基づいて前記基板面上の前記複数の電子ビームを略同一の変位量だけ偏向させるビーム偏向手段とを有して前記基板を走査露光する電子ビーム露光方法において、

前記複数の電子ビームの前記基板面上の位置の実測値と設計上の座標値に基づいて、前記複数の電子ビームの実際のビーム座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第1のパラメータを決定する第1のパラメータ決定段階と、

前記ビーム偏向手段によって各電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置の実測値と設計上の座標値に基づいて前記ビーム偏向手段の実際の偏向座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第2のパラメータを決定する第2のパラメータ決定段階と、

前記第1、第2のパラメータに基づいて、前記照射手段もしくは前記ビーム偏向手段を調整する調整段階とを有することを特徴とする電子ビーム露光方法。

【請求項2】 前記調整段階は、前記第1、第2パラメータに基づいて、前記ビーム偏向手段の補正係数を決定する段階を有することを特徴とする請求項1の電子ビーム露光方法。

【請求項3】 前記調整段階は、前記第1パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータと、記第2パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータとに基づいて、前記ビーム偏向手段の補正係数を決定する段階を有することを特徴とする請求項2の電子ビーム露光方法。

【請求項4】 前記照射手段は前記複数の電子ビームを基板面上に投影する電子光学系を有し、前記第1パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータと、記第2パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータとに基づいて、前記電子光学系の回転収差を調整する段階を有することを特徴とする請求項1の電子ビーム露光方法。

【請求項5】 前記第1パラメータは、座標間の平行移動量、回転量、線形伸縮量を表すパラメータを有することを特徴とする請求項1の電子ビーム露光方法。

【請求項6】 前記設計上の座標系に基づいて、前記基板の移動を制御する移動制御手段を有し、前記第1パラメータに基づいて前記移動制御手段の補正係数を決定する段階を有することを特徴とする請求項1の電子ビーム露光方法。

【請求項7】 前記第1のパラメータのうち座標間の平行移動量、回転量を表すパラメータに基づいて前記移動制御手段の補正係数を決定することを特徴とする請求項6の電子ビーム露光方法。

【請求項8】 前記照射手段は前記複数の電子ビームを基板面上に投影する電子光学系を有し、前記第1のパラメータのうち座標間の線形伸縮量を表すパラメータに基づ

いて前記電子光学系の倍率を調整する段階を有することを特徴とする請求項6の電子ビーム露光方法。

【請求項9】 前記複数の電子ビームを少なくとも4つのグループに分け、各グループを代表する電子ビームを選択する段階を有し、選択された複数の電子ビームに関し前記第1、第2のパラメータ決定段階を実行することを特徴とする請求項1乃至8の電子ビーム露光方法。

【請求項10】 請求項1乃至9の電子ビーム露光方法を用いてデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項11】 複数の電子ビームをて基板面上に配列させて照射する照射手段と、前記設計上の座標系に基づいて前記基板面上の前記複数の電子ビームを略同一の変位量だけ偏向させるビーム偏向手段とを有して前記基板を走査露光する電子ビーム露光方法において、

前記ビーム偏向手段によって各電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置を実測し、前記複数の電子ビームの変位位置の実測値と設計上の座標値に基づいて前記ビーム偏向手段の実際の偏向座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第1のパラメータを決定する段階と、

前記第1パラメータに基づいて、前記ビーム偏向手段の補正係数を決定する段階と、

前記補正係数で補正された前記ビーム偏向手段によって、前記複数の電子ビームのうちであって、前記複数の電子ビームより少ない予め決められた電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置を実測し、その変位位置の実測値と設計上の座標値に基づいて前記ビーム偏向手段の実際の偏向座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第2のパラメータを決定する段階と、

再度、前記ビーム偏向手段によって前記予め決められた電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置を実測して前記第2のパラメータを決定し、その変化に基づいて前記ビーム偏向手段の補正係数を変更する段階とを有することを特徴とする電子ビーム露光方法。

【請求項12】 前記第1パラメータは、座標間の回転量、線形伸縮量を表すパラメータを有することを特徴とする請求項1の電子ビーム露光方法。

【請求項13】 前記予め決められた電子ビームは一つであることを特徴とする請求項11の電子ビーム露光方法。

【請求項14】 請求項11乃至13の電子ビーム露光方法を用いてデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は電子ビーム露光方法に関し、特にウエハ直接描画またはマスク、レチクル露光の為に、複数の電子ビームを用いてパターン描画を行う電子ビーム露光方法及びそれを用いたデバイス製造方

法に関する。

【0002】

【従来の技術】電子ビーム露光装置には、ビームをスポット状にして使用するポイントビーム型、サイズ可変の矩形断面にして使用する可変矩形ビーム型、ステンシルを使用して所望断面形状にするステンシルマスク型等の装置がある。

【0003】ポイントビーム型の電子ビーム露光装置ではスループットが低いので、研究開発用にしか使用されていない。可変矩形ビーム型の電子ビーム露光装置では、ポイント型と比べるとスループットが1～2桁高いが、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の微細なパターンが高集積度で詰まったパターンを露光する場合などではやはりスループットの点で問題が多い。他方、ステンシルマスク型の電子ビーム露光装置は、可変矩形アパーチャに相当する部分に複数の繰返しパターン透過孔を形成したステンシルマスクを用いる。従って、ステンシルマスク型の電子ビーム露光装置では繰返しパターンを露光する場合のメリットが大きいが、1枚のステンシルマスクに納まらない多数の転写パターンが必要な半導体回路に対しては、複数枚のステンシルマスクを作成しておいてそれを1枚ずつ取り出して使用する必要があり、マスク交換の時間が必要になるため、著しくスループットが低下するという問題がある。

【0004】この問題点を解決する装置として、複数の電子ビームを設計上の座標に沿って試料面に照射し、設計上の座標に沿ってその複数の電子ビームを偏向させて試料面を走査させるとともに、描画するパターンに応じて複数の電子ビームを個別にon/offしてパターンを描画するマルチ電子ビーム型露光装置がある。マルチ電子ビーム型露光装置は、ステンシルマスクを用いずに任意の描画パターンを描画できるのでスループットがより改善できるという特徴がある。

【0005】図15に、マルチビーム型露光装置の概要を示す。501a, 501b, 501cは、個別に電子ビームをon/offできる電子銃である。502は、電子銃501a, 501b, 501cからの複数の電子ビームをウエハ503上に縮小投影する縮小電子光学系で、504は、ウエハ503に縮小投影された複数の電子ビームを走査させる偏向器である。

【0006】図16に上記構成により、ウエハ上を複数の電子ビームを走査した際の様子を示す。白丸は、各電子ビームが偏向器504により偏向を受けないときにウエハに入射するビーム基準位置(BS1, BS2, BS3)であって、各ビーム基準位置は設計上の直交座標系( $X_s, Y_s$ )に沿って配列される。一方、各電子ビームはビーム基準位置を基準としてこれも設計上の直交座標系( $X_s, Y_s$ )に沿って走査され、各電子ビーム毎の露光フィールド(EF1, EF2, EF3)を走査する。そして各電子ビームの露光フィールドが隣接してウエハを露光する。

【0007】

【発明が解決しようとしている課題】しかしながら、複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系( $X_a, Y_a$ )が設計上の直交座標系( $X_s, Y_s$ )と一致していても、偏向器が定める偏向座標系( $X_d, Y_d$ )が設計上の直交座標系( $X_s, Y_s$ )とずれていると各電子ビームの露光フィールドが隣接せず重なりあったり、離れたりして、所望のパターンが描画できない。図17(A)に偏向座標系がビーム座標系に対して回転している場合の各露光フィールドを示す。図17(B)に偏向座標系がビーム座標系に対して伸張している場合の各露光フィールドを示す。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は前記した従来の問題点を鑑みてなされたものであり、本発明の電子ビーム露光方法のある形態は、複数の電子ビームを設計上の座標系に基づいて基板面上に配列させて照射する照射手段と、前記設計上の座標系に基づいて前記基板面上の前記複数の電子ビームを略同一の変位量だけ偏向させるビーム偏向手段とを有して前記基板を走査露光する電子ビーム露光方法において、前記複数の電子ビームの前記基板面上の位置の実測値と設計上の座標値に基づいて、前記複数の電子ビームの実際のビーム座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第1のパラメータを決定する第1のパラメータ決定段階と、前記ビーム偏向手段によって各電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置の実測値と設計上の座標値に基づいて前記ビーム偏向手段の実際の偏向座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第2のパラメータを決定する第2のパラメータ決定段階と、前記第1、第2のパラメータに基づいて、前記照射手段もしくは前記ビーム偏向手段を調整する調整段階とを有することを特徴とする。

【0009】前記調整段階は、前記第1、第2パラメータに基づいて、前記ビーム偏向手段の補正係数を決定する段階を有することを特徴とする請。

【0010】前記調整段階は、前記第1パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータと、記第2パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータとに基づいて、前記ビーム偏向手段の補正係数を決定する段階を有することを特徴とする。

【0011】前記照射手段は前記複数の電子ビームを基板上に投影する電子光学系を有し、前記第1パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータと、記第2パラメータのうち座標間の回転量を表すパラメータとに基づいて、前記電子光学系の回転収差を調整する段階を有することを特徴とする。

【0012】前記第1パラメータは、座標間の平行移動量、回転量、線形伸縮量を表すパラメータを有することを特徴とする。

【0013】前記設計上の座標系に基づいて、前記基板の移動を制御する移動制御手段を有し、前記第1パラメータに基づいて前記移動制御手段の補正係数を決定する

段階を有することを特徴とする。

【0014】前記第1のパラメータのうち座標間の平行移動量、回転量を表すパラメータに基づいて前記移動制御手段の補正係数を決定することを特徴とする。

【0015】前記照射手段は前記複数の電子ビームを基板上に投影する電子光学系を有し、前記第1のパラメータのうち座標間の線形伸縮量を表すパラメータに基づいて前記電子光学系の倍率を調整する段階を有することを特徴とする。

【0016】前記複数の電子ビームを少なくとも4つのグループに分け、各グループを代表する電子ビームを選択する段階を有し、選択された複数の電子ビームに関し前記第1、第2のパラメータ決定段階を実行することを特徴とする。

【0017】本発明の電子ビーム露光方法の他のある形態は、複数の電子ビームをて基板面上に配列させて照射する照射手段と、前記設計上の座標系に基づいて前記基板面上の前記複数の電子ビームを略同一の変位量だけ偏向させるビーム偏向手段とを有して前記基板を走査露光する電子ビーム露光方法において、前記ビーム偏向手段によって各電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置を実測し、前記複数の電子ビームの変位位置の実測値と設計上の座標値に基づいて前記ビーム偏向手段の実際の偏向座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第1のパラメータを決定する段階と、前記第1パラメータに基づいて、前記ビーム偏向手段の補正係数を決定する段階と、前記補正係数で補正された前記ビーム偏向手段によって、前記複数の電子ビームのうちであって、前記複数の電子ビームより少ない予め決められた電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置を実測し、その変位位置の実測値と設計上の座標値に基づいて前記ビーム偏向手段の実際の偏向座標系と前記設計上の座標系との関係を表す第2のパラメータを決定する段階と、再度、前記ビーム偏向手段によって前記予め決められた電子ビームを偏向した際の前記基板面上の変位位置を実測して前記第2のパラメータを決定し、その変化に基づいて前記ビーム偏向手段の補正係数を変更する段階とを有することを特徴とする。

【0018】前記第1パラメータは、座標間の回転量、線形伸縮量を表すパラメータを有することを特徴とする。

【0019】前記予め決められた電子ビームは一つであることを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】

(実施例1)

〔電子ビーム露光装置の構成要素説明〕図1は本発明に係る電子ビーム露光装置の要部概略図である。

【0021】図1において、1は、カソード1a、グリッド1b、アノード1cよりなる電子銃であって、カソード

1aから放射された電子はグリッド1b、アノード1cの間でクロスオーバー像を形成する（以下、これらのクロスオーバー像を光源と記す）。

【0022】この光源から放射される電子は、その前側焦点位置が前記光源位置にあるコンデンサーレンズ2によって略平行の電子ビームとなる。略平行な電子ビームは、要素電子光学系アレイ3に入射する。要素電子光学系アレイ3は、ブランキング電極と開口と電子レンズで構成される要素電子光学系が光軸AXに直交する方向に複数配列されて形成されたものである。要素電子光学系アレイ3の詳細については後述する。

【0023】要素電子光学系アレイ3は、光源の中間像を複数形成し、各中間像は後述する縮小電子光学系4によって縮小投影され、ウエハ5上に光源像を形成する。

【0024】その際、ウエハ5上の光源像の間隔が光源像の大きさの整数倍になるように、要素電子光学系アレイ3の各要素は設定されている。更に、要素電子光学系アレイ3は、各中間像の光軸方向の位置を縮小電子光学系4の像面湾曲に応じて異ならせるとともに、各中間像が縮小電子光学系4によってウエハ5に縮小投影される際に発生する収差を予め補正している。

【0025】縮小電子光学系4は、第1投影レンズ41(43)と第2投影レンズ42(44)とからなる対称磁気タブレットで構成される。第1投影レンズ41(43)の焦点距離を $f_1$ 、第2投影レンズ42(44)の焦点距離を $f_2$ とすると、この2つのレンズ間距離は $f_1+f_2$ になっている。光軸上AXの物点は第1投影レンズ41(43)の焦点位置にあり、その像点は第2投影レンズ42(44)の焦点に結ぶ。この像は $-f_2/f_1$ に縮小される。また、2つのレンズ磁界が互いに逆方向に作用する様に決定されているので、理論上は、球面収差、等方性非点収差、等方性コマ収差、像面湾曲収差、軸上色収差の5つの収差を除いて他のザイデル収差および回転と倍率に関する色収差が打ち消される。

【0026】6は、要素電子光学系アレイ3からの複数の電子ビームを偏向させて、複数の光源像をウエハ5上でX,Y方向に略同一の変位量だけ変位させる偏向器である。偏向器6は、図示はされていないが、偏向幅が広い場合に用いられる主偏向器と偏向幅が狭い場合に用いられる副偏向器で構成されていて、主偏向器は電磁型偏向器で、副偏向器は静電型偏向器である。

【0027】7は偏向器6を作動させた際に発生する偏向収差により光源像のフォーカス位置のずれを補正するダイナミックフォーカスコイルであり、8は、ダイナミックフォーカスコイル7と同様に、偏向により発生する偏向収差の非点収差を補正するダイナミックスティグコイルである。

【0028】9は、要素電子光学系アレイ3からの電子ビームが、ウエハ5上に形成された位置合わせマークもしくはステージ基準板13上のマークを照射した際に生じる反射電子又は2次電子を検出する反射電子検出器であ

る。

【0029】10は、X及びY方向にのびる2つのシングルナイフエッジを有するファラデーカップで要素電子光学系からの電子ビームが形成する光源像の電荷量を検出する。

【0030】11は、ウエハを載置し、光軸AX(Z軸)方向とZ軸回りの回転方向に移動可能な $\theta$ -Zステージであって、前述したステージ基準板13とファラデーカップ10が固設されている。

【0031】12は、 $\theta$ -Zステージを載置し、光軸AX(Z軸)と直交するXY方向に移動可能なXYステージである。

【0032】次に、図2を用いて要素電子光学系アレイ3について説明する。

【0033】要素電子光学系アレイ3は、複数の要素電子光学系をグループ(サブアレイ)とし、そのサブアレイが複数形成されている。そして、本実施例では7つのサブアレイA~Gが形成されている。各サブアレイは、複数の要素電子光学系が2次元的に配列されている。そして、本実施例の各サブアレイではD(1,1)~D(5,5)のように25個の要素電子光学系が形成されていて、各要素電子光学系は縮小電子光学系4を介してウエハ上にはX方向もY方向もピッチPb( $\mu\text{m}$ )の間隔で配列する光源像を形成する。

【0034】各要素電子光学系の断面図を図3に示す。

【0035】図3において、301は一对の電極で構成され、偏向機能を有するブランキング電極であり、302は、透過する電子ビームの形状を規定する開口(AP)を有する基板で他の要素電子光学系と共通である。その上にブランキング電極301と電極をon/offするための配線(W)が形成されている。303は、3つの開口電極で構成され、上下の電極を加速電位V0と同じにし、中間の電極を別の電位V1またはV2に保った収斂機能を有するユニポテンシャルレンズ303a、303bの2つを用いた電子レンズである。

【0036】ユニポテンシャルレンズ303aの上、中、下の電極及びユニポテンシャルレンズ303bの上、下の電極の形状は図4(A)に示すような形状であり、ユニポテンシャルレンズ303a、303bの上下電極は、後述する焦点・非点制御回路1によって全ての要素電子光学系において共通の電位に設定している。

【0037】ユニポテンシャルレンズ303aの中間電極は、焦点・非点制御回路1によって要素電子光学系毎に電位が設定出来る為、ユニポテンシャルレンズ303aの焦点距離が要素電子光学系毎に設定できる。

【0038】また、ユニポテンシャルレンズ303bの中間電極は、図4(B)に示すような4つの電極で構成され、焦点・非点制御回路によって各電極の電位が個別に設定でき、要素電子光学系毎にも個別設定出来るため、ユニポテンシャルレンズ303bは直交する断面において焦点距

離が異なるようにでき、かつ要素電子光学系毎にも個別に設定出来る。

【0039】その結果、要素電子光学系の中間電極の電位をそれぞれ制御することによって、要素電子光学系の電子光学特性(中間像形成位置、非点収差)を制御することができる。

【0040】コンデンサーレンズ2で略平行にされた電子ビームは、ブランキング電極301と開口(AP)を介し、電子レンズ303によって、光源の中間像を形成する。この時、ブランキング電極301の電極間に電界をかけていないと電子ビーム束305の様に偏向されない。一方、ブランキング電極301の電極間に電界をかけると電子ビーム束306の様に偏向される。すると、電子光束305と電子ビーム束306は、縮小電子光学系4の物体面で互いに異なる角度分布を有するので、縮小電子光学系4の瞳位置(図1のP面上)では電子ビーム束305と電子ビーム束306は互いに異なる領域に入射される。したがって、電子ビーム束305だけを透過させるブランキング開口BAを縮小電子光学系の瞳位置(図1のP面上)に設けてある。

【0041】また、各要素電子光学系は、それぞれが形成する中間像が縮小電子光学系4によって被露光面に縮小投影される際に発生する像面湾曲・非点収差を補正するために、各要素電子光学系の2つの中間電極の電位を個別に設定して、各要素電子光学系の電子光学特性(中間像形成位置、非点収差)を異ならしめている。ただし、本実施例では、中間電極と焦点・非点制御回路1との配線を減らす為に同一サブアレイ内の要素電子光学系は同一の電子光学特性にしてあり、要素電子光学系の電子光学特性(中間像形成位置、非点収差)をサブアレイ毎に制御している。

【0042】さらに、複数の中間像が縮小電子光学系4によって被露光面に縮小投影される際に発生する歪曲収差を補正するために、縮小電子光学系4の歪曲特性を予め知り、それに基づいて、縮小電子光学系4の光軸と直交する方向の各要素電子光学系の位置を設定している。

【0043】次に本実施例のシステム構成図を図5に示す。

【0044】ブランキング制御回路14は、要素電子光学アレイ3の各要素電子光学系のブランキング電極のon/offを個別に制御する制御回路、焦点・非点制御回路1(15)は、要素電子光学アレイ3の各要素電子光学系の電子光学特性(中間像形成位置、非点収差)を個別に制御する制御回路である。

【0045】焦点・非点制御回路2(16)は、ダイナミックスティグコイル8及びダイナミックフォーカスコイル7を制御して縮小電子光学系4の焦点位置、非点収差を制御する制御回路で、偏向制御回路17は偏向器6を制御する制御回路、倍率調整回路18は、縮小電子光学系4の倍率を調整する制御回路、光学特性回路19は、縮小電子光学系4を構成する電磁レンズの励磁電流を変化させ回

転収差や光軸を調整する制御回路である。

【0046】ステージ駆動制御回路20は、 $\theta$ -Zステージを駆動制御し、かつXYステージ12の位置を検出するレーザ干渉計21と共同してXYステージ12を駆動制御する制御回路である。

【0047】制御系22は、描画パターンに関する情報が記憶されたメモリ23からのデータに基づく露光及び位置合わせの為に上記複数の制御回路および反射電子検出器9・ファラデーカップ10を同期して制御する。制御系22は、インターフェース24を介して電子ビーム露光装置全体をコントロールするCPU25によって制御されている。

【0048】(動作の説明) 図5を用いて本実施例の電子ビーム露光装置の動作について説明する。

【0049】露光装置のキャリブレーションの際、CPU25は、インターフェース24を介して制御系22に「キャリブレーションの実行」を命令すると、複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系( $X_a, Y_a$ )と偏向器が定める偏向座標系( $X_d, Y_d$ )との関係を知り補正するために制御系22は下記のステップを実行する。

【0050】(ステップ1) 図2に示した要素電子光学系アレイ3の中心にある要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームが偏向を受けずにウエハに照射する位置をビーム基準位置とすると、制御系22はステージ駆動制御回路20に命令して、XYステージ12を移動させ、ファラデーカップを、ビーム基準位置近傍に位置づけさせる。

【0051】そして、制御系22はブランキング制御回路14に命令して、要素電子光学系D(3,3)の電子ビームだけがウエハ側に入射するように、要素電子光学系D(3,3)のブランキング電極だけをoffにし、その他をonに維持する。

【0052】そして、制御系22は、ステージ駆動制御回路に命令し、図6(A)に示すようにXYステージ12をX方向(計測方向)に移動させてファラデーカップ11のナイフエッジNFx(X方向計測用)が要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームBEを横切らせる。その時にファラデーカップ10で検出される電子量とレーザ干渉計21で測定されるXYステージのX方向の位置を記憶する。その結果である電子量と位置に関する信号を図6(B)に示す。更にその信号を微分し、図6(C)に示すような信号を得る。この信号より従来より用いられているスライス法や相関法により電子ビームの位置X0を求める。ここで位置X0は、設計上の座標系とみなすステージ座標系( $X_s, Y_s$ )での位置である。

【0053】(ステップ2) 制御系22は、上記と同様にステージ駆動制御回路に命令し、XYステージ12をY方向(計測方向)に移動させてファラデーカップ11のナイフエッジNFy(Y方向計測用)が要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームBEを横切らせ、電子ビームの位置Y0を求める。

【0054】(ステップ3) 制御系22は、偏向制御回路

17の命令し、要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームを偏向し、偏向範囲の四隅を含む8カ所の偏向位置での電子ビームの位置をステップ1、2と同様の方法で検出し、ビーム基準位置BS( $X_0, Y_0$ )に対する偏向位置D1( $X_1, Y_1$ )~D8( $X_8, Y_8$ )を求める。

【0055】(ステップ4) 制御系22は、要素電子光学系A(3,3)、B(3,3)、C(3,3)、D(3,3)、F(3,3)、G(3,3)、H(3,3)からの電子ビームに関してもステップ1~3を実行する。

【0056】(ステップ5) 図7(A)にステップ1~4によって得られた要素電子光学系毎の実際のビーム基準位置(黒丸)とその設計上の位置(白丸)とを示し、図7(B)に一つの要素電子光学系の実際の偏向位置(黒丸)は設計上の位置(白丸)と示す。図7に示すように実際のビーム位置と設計上の位置は異なる。それは、複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系( $X_a, Y_a$ )とステージ座標系( $X_s, Y_s$ )との不整合及び偏向器が定める偏向座標系( $X_d, Y_d$ )とステージ座標系( $X_s, Y_s$ )と不整合によるものである。

【0057】そこで、制御系22は、複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系( $X_a, Y_a$ )とステージ座標系( $X_s, Y_s$ )の関係を下記のように仮定する。

$$\begin{aligned} X_a &= 0x + (k \cdot \cos \alpha) \cdot X_s - (k \cdot \sin \alpha) \cdot Y_s \\ Y_a &= 0y + (k \cdot \sin \alpha) \cdot X_s + (k \cdot \cos \alpha) \cdot Y_s \end{aligned}$$

ここで各係数は、

0x : ビーム座標系のX方向の平行移動量

0y : ビーム座標系のY方向の平行移動量

k : ビーム座標系の等方的線形伸縮量

$\alpha$  : ビーム座標系の回転量

【0059】そして、ステップ1~4によって得られた要素電子光学系毎の実際のビーム基準位置( $X_s, Y_s$ )とその設計上の位置( $X_a, Y_a$ )を用いて、上記係数を最小2乗法より求め、ステージ座標系( $X_s, Y_s$ )におけるビーム座標系( $X_a, Y_a$ )を決定する。この時、係数は4つであるので少なくとも4つの要素電子光学系からのビーム基準位置を測定すればよい。

【0060】求められた係数kに基づいて制御系22はk=1になるように倍率制御回路18に命じて縮小電子光学系の倍率を調整する。その他の係数を用いてステージ制御回路20の補正係数を決定し下記に示す新たなステージ座標系( $X_s', Y_s'$ )を設定する。

【0061】

$$X_a = X_s' \cdot (\cos \alpha) \cdot X_s - (\sin \alpha) \cdot Y_s \quad (1)$$

$$Y_a = Y_s' \cdot (\sin \alpha) \cdot X_s + (\cos \alpha) \cdot Y_s \quad (2)$$

以上よりビーム座標系( $X_a, Y_a$ )とステージ座標系( $X_s', Y_s'$ )とが一致する。

【0062】次に制御系22は、偏向器が定める偏向座標系( $X_d, Y_d$ )とステージ座標系( $X_s, Y_s$ )の関係を下記のように仮定する。

【0063】

$$X_d = k_x \cos \beta * X_s - k_x \sin \beta * Y_s \quad (3)$$

$$Y_d = k_y \sin \beta * X_s + k_y \cos \beta * Y_s \quad (4)$$

ここで各係数は、

$k_x$  : 偏向座標系のX方向の線形伸縮量

$k_y$  : 偏向座標系のY方向の線形伸縮量

$\beta$  : 偏向座標系の回転量

【0064】そして、ステップ1～4によって得られた全ての要素電子光学系におけるステージ座標系でのビーム基準位置に対する実際の偏向位置( $X_{ds}, Y_{ds}$ )とその設計上の位置( $X_d, Y_d$ )を用いて、上記係数を最小2乗法より求め、ステージ座標系( $X_s, Y_s$ )における偏向座標系( $X_d, Y_d$ )を決定する。

【0065】更に式(1)～(4)より

$$X_d = k_x \cos(\beta - \alpha) * X_a - k_x \sin(\beta - \alpha) * Y_a$$

$$Y_d = k_y \sin(\beta - \alpha) * X_a + k_y \cos(\beta - \alpha) * Y_a$$

を得、ビーム座標系( $X_a, Y_a$ )と偏向座標系( $X_d, Y_d$ )との関係を決定する。そして制御系22は、係数 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $k_x$ 、 $k_y$ を用いて偏向制御回路17の補正係数を決定する。よってビーム座標系( $X_a, Y_a$ )と偏向座標系( $X_d, Y_d$ )とが一致する。

【0066】以上より、ビーム座標系( $X_a, Y_a$ )と偏向座標系( $X_d, Y_d$ )とステージ座標系( $X_s', Y_s'$ )とが一致し、キャリブレーションが完了する。

【0067】次に、CPU25は、インターフェース24を介して制御系22に「露光の実行」を命令すると、制御系22は下記のステップを実行する。

【0068】(ステップ1)制御系22は、偏向制御回路17に命じ、偏向器6の副偏向器によって、要素電子光学系アレイからの複数の電子ビーム偏向させるとともに、ブランキング制御回路14に命じ各要素電子光学系のブランキング電極をウエハ5に露光すべきパターンに応じてon/offさせる。この時XYステージ12はX方向に連続移動しており、偏向制御回路17は、XYステージ12の移動量も含めて電子ビームの偏向位置を制御している。

【0069】その結果、一つの要素電子光学系からの電子ビームは、図8に示すようにウエハ5上の露光フィールド(EF)を黒四角を起点として走査し露光する。また、図9に示すように、サブアレイ内の複数の要素電子光学系の露光フィールド(EF)は、隣接するように設定されていて、その結果、ウエハ5上において、複数の露光領域(EF)で構成されるサブアレイ露光フィールド(SEF)を露光される。同時に、ウエハ5上において、図10に示すようなサブアレイAからGのそれぞれが形成するサブアレイ露光フィールド(SEF)で構成されるサブフィールドが露光される。

【0070】(ステップ2)制御系22は、図11に示すサブフィールド①を露光後、サブフィールド②を露光する為に、偏向制御回路17に命じ、偏向器6の主偏向器によって、要素電子光学系アレイからの複数の電子ビーム偏向させる。この時、制御系22は、焦点・非点制御回路

2に命じ、予め求めた動的焦点補正データに基づいてダイナミックフォーカスコイル7を制御して縮小電子光学系4の焦点位置を補正するとともに、予め求めた動的非点補正データに基づいてダイナミックスティグコイル8を制御して、縮小電子光学系の非点収差を補正する。そして、ステップ1の動作を行い、サブフィールド②を露光する。

【0071】以上のステップ1、2を繰り返して、図11に示すようにサブフィールド③④というようにサブフィールドを順次露光してウエハ5全面を露光する。

【0072】(実施例2)偏向器6は、経時変化によりその偏向座標系が変化するので、露光毎に実施例1のように偏向座標系を求め偏向制御回路17の補正係数を更新することは必要であるがスループットを大きく低下する。

【0073】特に、実施例1では、7つの要素電子光学系におけるステージ座標系でのビーム基準位置に対する実際の偏向位置( $X_{ds}, Y_{ds}$ )とその設計上の位置( $X_d, Y_d$ )を用いて、ビーム座標系( $X_a, Y_a$ ) (ステージ座標系( $X_s', Y_s'$ ))と偏向座標系( $X_d, Y_d$ )との関係の係数を最小2乗法より求め、偏向制御回路17の補正係数を決定していた。

【0074】そこで、実施例2においては、一度、実施例1と同じ方法でキャリブレーションを完了させた後は、7つの要素電子光学系のうちであって、それより少ない数の要素電子光学系好ましくは一つの要素電子光学系からの電子ビームに関して、そのビーム基準位置、偏向位置を検出して、キャリブレーションを行っている。

【0075】その具体的方法を以下に説明する。

【0076】(ステップ1)実施例1のキャリブレーション直後、すなわち、決定された補正係数によって偏向制御回路17、ステージ駆動制御回路20が補正された後、要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームのビーム基準位置と偏向位置、総計9カ所の位置を実施例1と同様に検出する。その時の設計上の位置( $X_b, Y_b$ )、その実測値を( $X_s, Y_s$ )としその関係を下記のように仮定する。

【0077】

$$X_b = 0b_x + (k_{bx} \cos \gamma) * X_s - (k_{bx} \sin \gamma) * Y_s$$

$$Y_b = 0b_y + (k_{by} \sin \gamma) * X_s + (k_{by} \cos \gamma) * Y_s$$

ここで各係数は、

$0b_x$  : 要素電子光学系D(3,3)のビーム座標系のX方向の平行移動量

$0b_y$  : 要素電子光学系D(3,3)のビーム座標系のY方向の平行移動量

$k_{bx}$  : 要素電子光学系D(3,3)のビーム座標系のX方向の線形伸縮量

$k_{by}$  : 要素電子光学系D(3,3)のビーム座標系のY方向の線形伸縮量

$\gamma$  : 要素電子光学系D(3,3)のビーム座標系の回転量

【0078】そして、電子ビームのビーム基準位置と偏



向位置とそれに対応する設計上の位置を用いて、上記係数を最小2乗法より求め、制御系22はその係数を記憶する。

【0079】(ステップ2)露光する前に、ステップ1と同様に要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームのビーム基準位置と偏向位置、総計9カ所の位置を検出して、上記係数を求め、その時の係数(0bx', 0by', kbx', kby',  $\gamma'$ )として、ステップ1で求められた係数からの変化量を得る。そして下式のように、その変化量を用いてビーム座標系(Xa, Ya) (ステージ座標系(Xs', Ys'))と偏向座標系(Xd, Yd)との関係の係数を決定し、偏向制御回路17の補正係数を変更する。

$$\begin{aligned} Xd &= (kx + \Delta kbx) \cdot \cos(\beta - \alpha + \Delta \gamma) \cdot Xa - (kx + \Delta kbx) \cdot \sin(\beta - \alpha + \Delta \gamma) \cdot Ya \\ Yd &= (ky + \Delta kby) \cdot \sin(\beta - \alpha + \Delta \gamma) \cdot Xa + (ky + \Delta kby) \cdot \cos(\beta - \alpha + \Delta \gamma) \cdot Ya \end{aligned}$$

ただし、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、kx、kyはステップ1(実施例1のキャリブレーション)で決定された補正係数、 $\Delta kbx = kbx' - kbx$ 、 $\Delta kby = kby' - kby$ 、 $\Delta \gamma = \gamma' - \gamma$ である。

【0081】以上より、実施例1に比ば数少ない測定で補正係数の経時変化を補正できる。

【0082】(実施例3)実施例1では、ステージ座標系(Xs, Ys)とビーム座標系(Xa, Ya)との関係を表す係数( $\alpha$ )を用いて、ステージ制御回路20の補正係数を決定し新たなステージ座標系(Xs', Ys')を設定したが、本実施例では、ビーム座標系の回転量 $\alpha$ に基づいて、制御系22は、光学特性調整回路19に命じ、縮小電子光学系4に回転歪曲収差を発生させ、ビーム座標系(Xa, Ya)を回転させる。本実施例では不図示の縮小電子光学系4に設けられた回転レンズにより回転歪曲収差を発生させている。

【0083】その時のビーム座標系(Xa, Ya)と偏向座標系(Xd, Yd)との関係は下式ようになる。

$$\begin{aligned} Xd &= kx \cdot \cos \beta \cdot Xa - ky \cdot \sin \beta \cdot Ya \\ Yd &= ky \cdot \sin \beta \cdot Xa + kx \cdot \cos \beta \cdot Ya \end{aligned}$$

【0085】そして制御系22は、係数、 $\beta$ 、kx、kyを用いて偏向制御回路17の補正係数を決定する。よってビーム座標系(Xa, Ya)と偏向座標系(Xd, Yd)とが一致する。

【0086】(実施例4)実施例1では、電子ビームのビーム基準位置と偏向位置をファラデーカップ11を用いて測定していた。

【0087】本実施例では、図12に示すように、ステージ基準板上に形成されている電子ビームのビーム基準位置と偏向位置に対応したマークを用いて実際のビーム基準位置と偏向位置を測定する。

【0088】具体的には、制御系22はステージ駆動制御回路20に命令して、XYステージ12を移動させ、ステージ基準板13上に形成されている電子ビームのビーム基準位置に対応するマークS、ビーム基準位置近傍に位置づけさせる。

【0089】そして、制御系22はブランキング制御回路14に命令して、要素電子光学系D(3,3)の電子ビームだけがウエハ側に入射するように、要素電子光学系D(3,3)のブランキング電極だけをoffにし、その他をonに維持する。

【0090】次に、制御系22は、ステージ駆動制御回路に命令し、XYステージ12をX方向(計測方向)に移動させてマークSが要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームBEを横切らせる。その時にマークSから発生する反射電子・2次電子を反射電子検出器で検出し、検出される電子量とレーザ干渉計21で測定されるXYステージのX方向の位置を記憶する。その結果である電子量と位置に関する信号より従来より用いられているスライス法や相関法により電子ビームのビーム基準位置を求める。更に、制御系22は、偏向制御回路17の命令し、要素電子光学系D(3,3)からの電子ビームを偏向し、偏向範囲の四隅を含む8カ所の偏向位置での電子ビームの位置をそれに対応するマークd1~d8を用いて上記と同様の方法で検出し、ビーム偏向位置を求める。

【0091】次に上記説明した電子ビーム露光装置及び露光方法を利用したデバイスの生産方法の実施例を説明する。

【0092】図13は微小デバイス(ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の製造のフローを示す。ステップ1(回路設計)では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2(露光制御データ作成)では設計した回路パターンに基づいて露光装置の露光制御データを作成する。一方、ステップ3(ウエハ製造)ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4(ウエハプロセス)は前工程と呼ばれ、上記用意した露光制御データが入力された露光装置とウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5(組み立て)は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ6(検査)ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0093】図14は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11(酸化)ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14(イオン打込み)ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では上記説明した露光装置によって回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17

(現像)では露光したウエハを現像する。ステップ18(エッチング)では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返して行なうことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0094】本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを低コストに製造することができる。

【0095】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、マルチビーム型電子ビーム露光装置において、複数のビーム基準位置が定めるビーム座標系( $X_a, Y_a$ )と偏向器が定める偏向座標系( $X_d, Y_d$ )とを高精度に一致させるとともに座標間のずれの経時変化を短時間で補正して露光することを可能にした電子ビーム露光方法を提供する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る電子ビーム露光装置の要部概略を示す図。

【図2】要素電子光学系アレイ3について説明する図。

【図3】要素電子光学系を説明する図。

【図4】要素電子光学系の電極を説明する図。

【図5】本発明に係るシステム構成を説明する図。

【図6】ファラデーカップによる測定を説明する図。

【図7】実際にのビーム位置と設計上のビーム位置を説明する図。

【図8】露光フィールド(EF)を説明する図。

【図9】サブアレイ露光フィールド(SEF)を説明する図。

【図10】サブフィールドを説明する図。

【図11】ウエハ走査露光を説明する図。

【図12】実施例4のステージ基準板上のマークを説明する図。

【図13】微小デバイスの製造フローを説明する図。

【図14】ウエハプロセスを説明する図。

【図15】従来のマルチビーム型電子ビーム露光装置を説明する図。

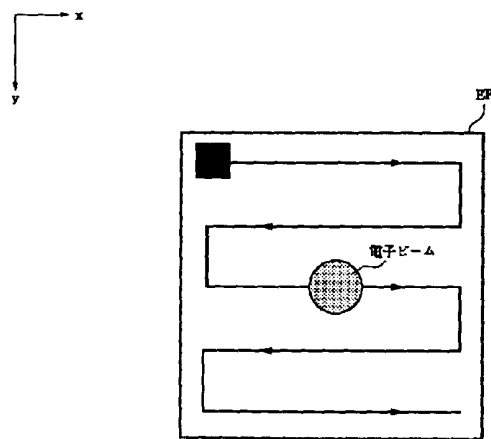
【図16】設計上の露光フィールドを説明する図。

【図17】実際の露光フィールドを説明する図。

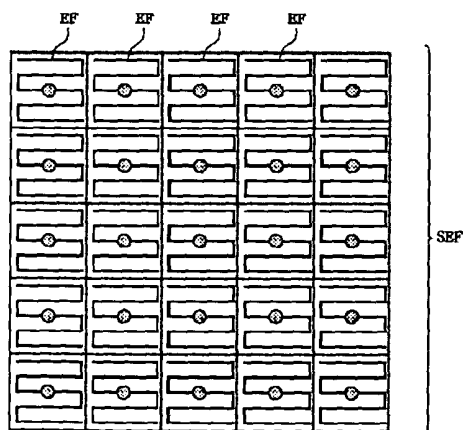
【符号の説明】

- 1 電子銃
- 2 コンデンサーレンズ
- 3 要素電子光学系アレイ
- 4 縮小電子光学系
- 5 ウエハ
- 6 偏向器
- 7 ダイナミックフォーカスコイル
- 8 ダイナミックスティグコイル
- 9 反射電子検出器
- 10 ファラデーカップ
- 11  $\theta$ -Zステージ
- 12 XYステージ
- 13 ステージ基準板
- 14 ブランキング制御回路
- 15 焦点・非点制御回路1
- 16 焦点・非点制御回路2
- 17 偏向制御回路
- 18 倍率調整回路
- 19 光学特性回路
- 20 ステージ駆動制御回路
- 21 レーザ干渉計
- 22 制御系
- 23 メモリ
- 24 インターフェース
- 25 CPU

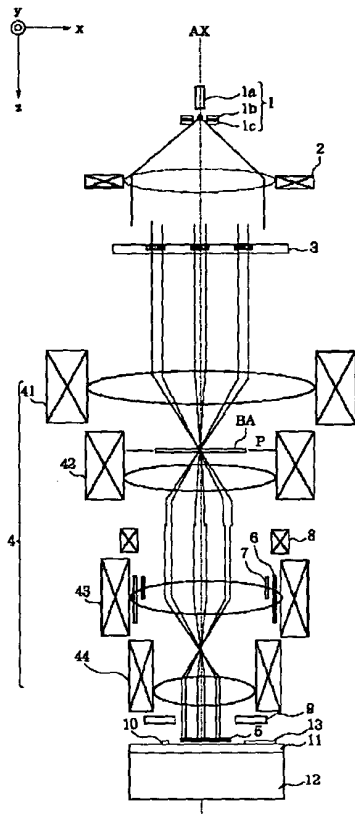
【図8】



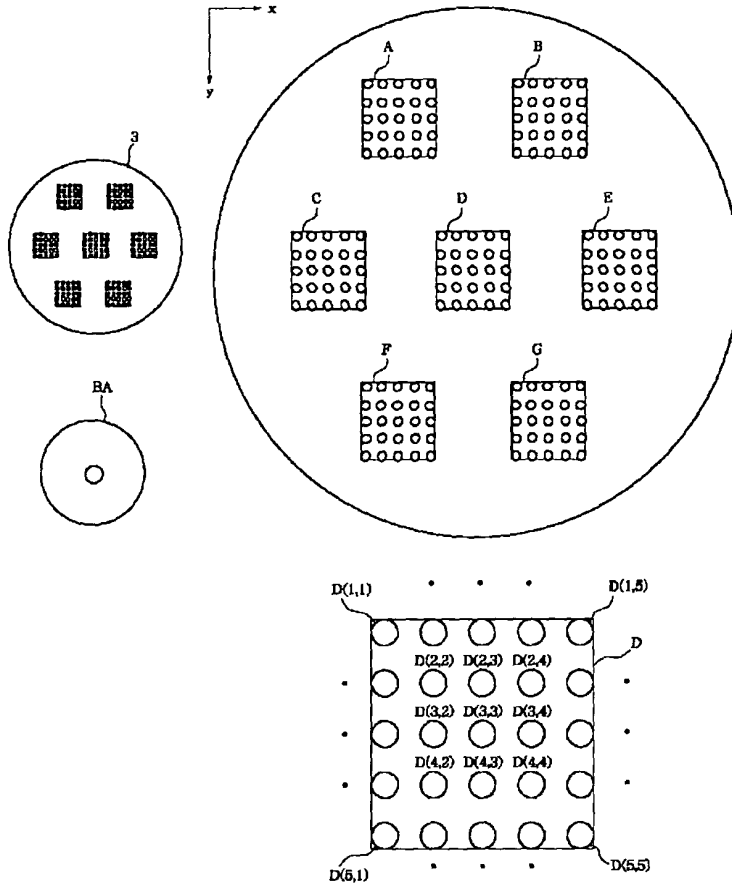
【図9】



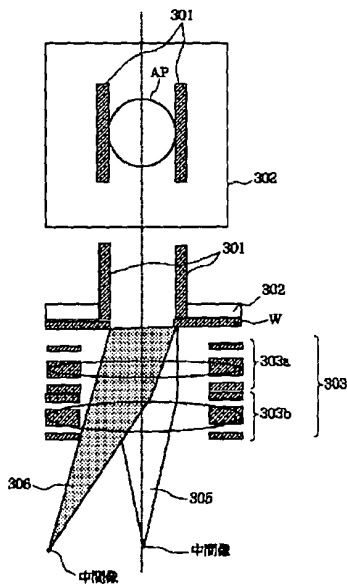
【図1】



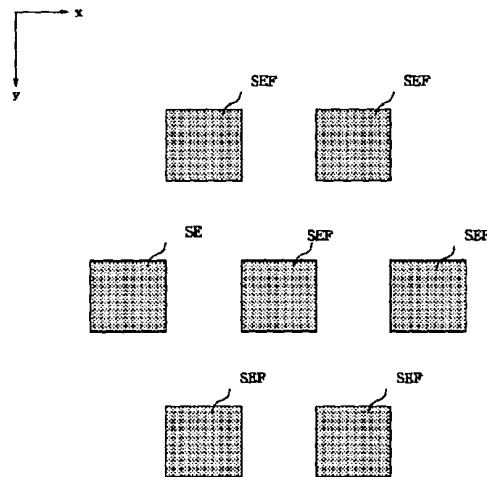
【図2】



【図3】



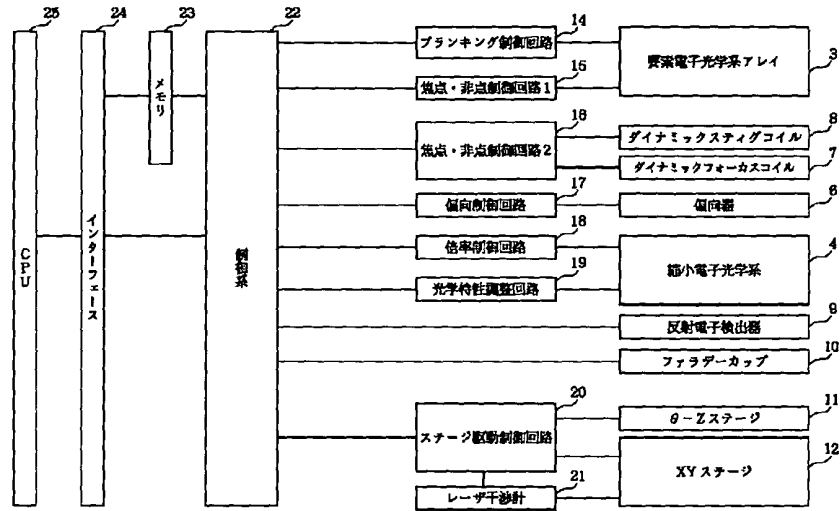
【図10】



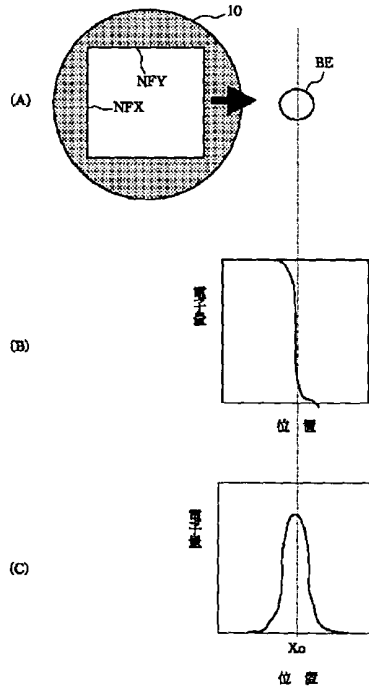
【図4】



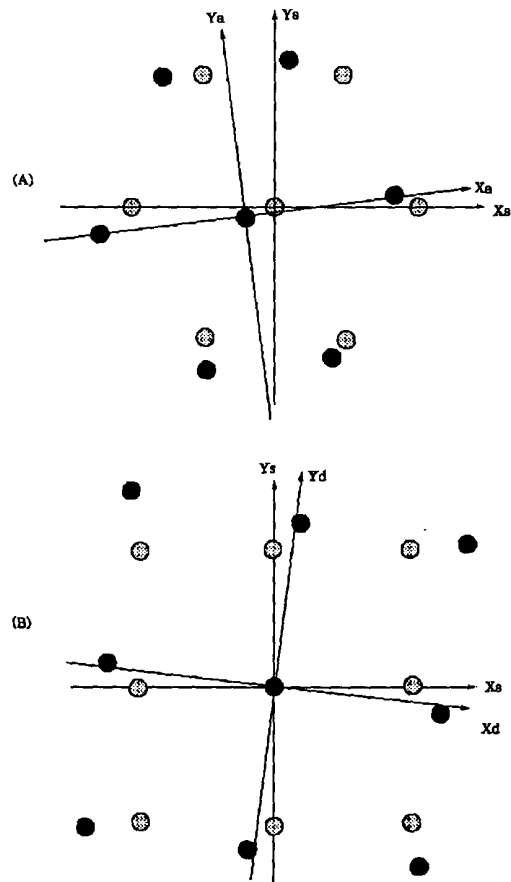
【図5】



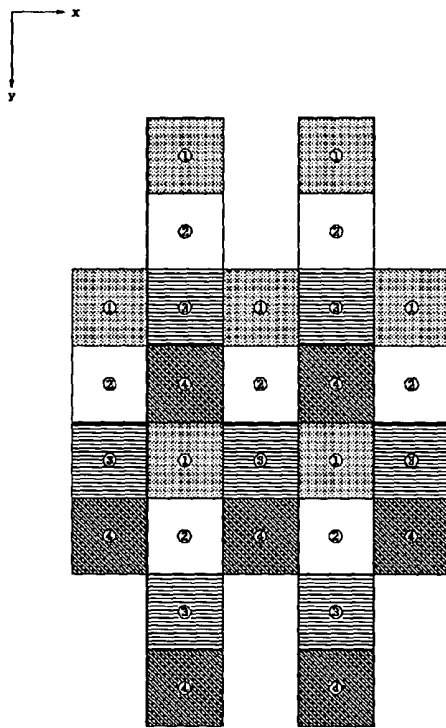
【図6】



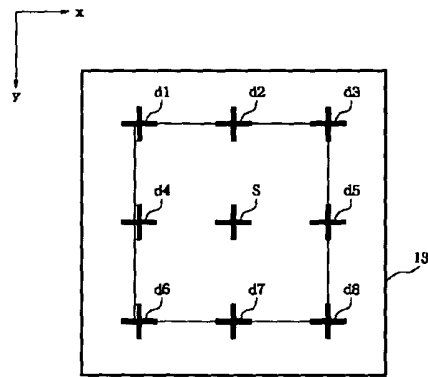
【図7】



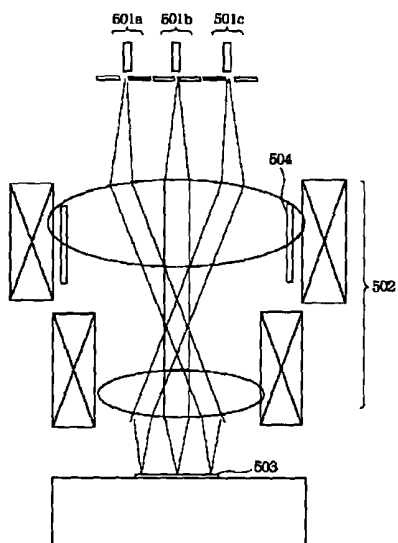
【図11】



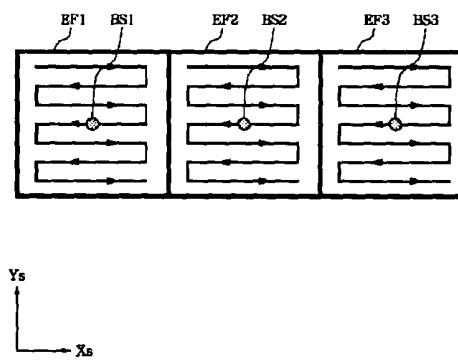
【図12】



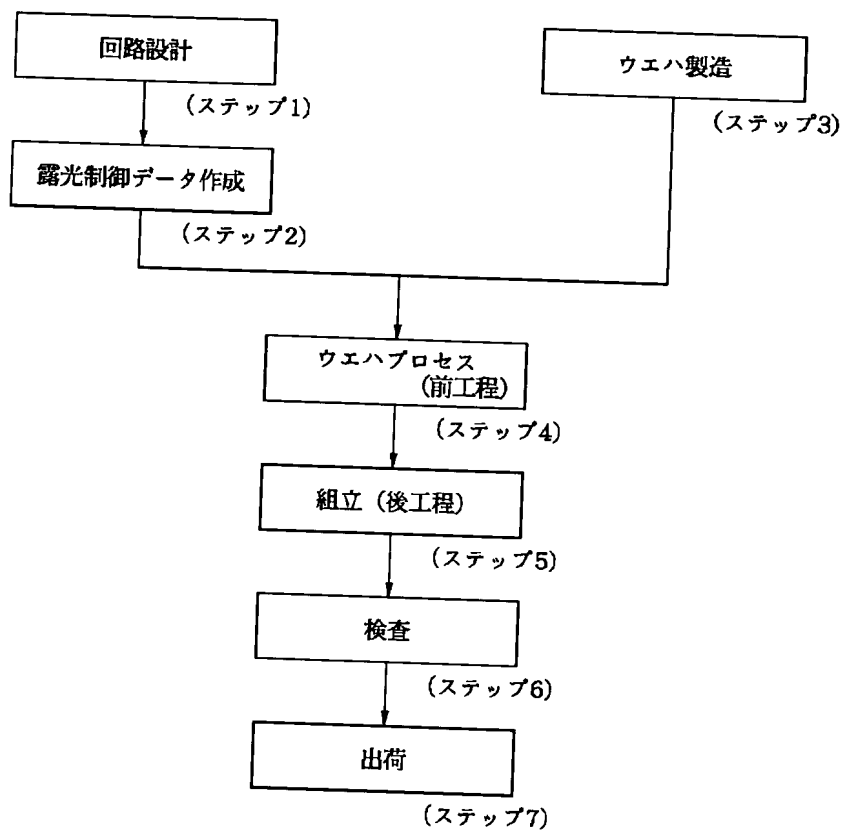
【図15】



【図16】



【図13】



半導体デバイス製造フロー

```
graph TD; S11[酸化 (ステップ11)] --> S12[CVD (ステップ12)]; S12 --> S13[電極形成 (ステップ13)]; S13 --> S14[イオン打込み (ステップ14)]; S14 --> S15[レジスト処理 (ステップ15)]; S15 --> S16[露光 (ステップ16)]; S16 --> S17[現像 (ステップ17)]; S17 --> S18[エッチング (ステップ18)]; S18 --> S19[レジスト剥離 (ステップ19)]; S19 -- 繰り返す --> S11;
```

ウエハプロセス

【図17】

